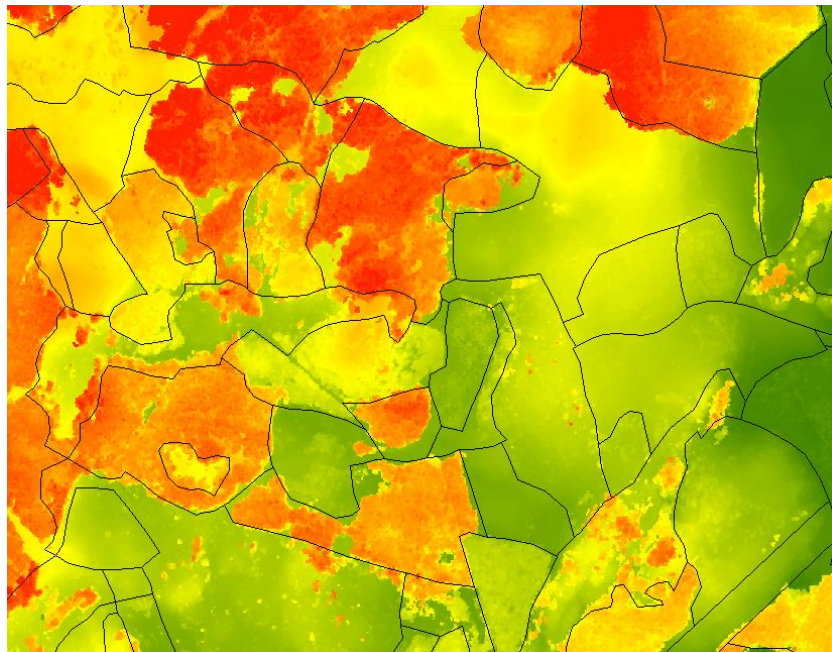




# Skattning av trädhöjd med hjälp av en ytmodell för laserdata

*Estimation of tree height using the laser data  
surface model*

**EDVIN LIDÉN  
JOHAN SÖDERBERG**



**Examensarbete i skogshushållning, 15 hp**

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2019:28

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

# Skattning av trädhöjd med hjälp av en ytmodell för laserdata

Estimation of tree height using the laser data surface model

Edvin Lidén  
Johan Söderberg

**Handledare:** Eric Agestam, SLU Institutionen för sydsvensk skogsforskning  
Andreas Oxenstierna, T-Kartor Geospatial AB

**Examinator:** Johan Törnblom, SLU Skogsmästarskolan

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

**Kurstitel:** Kandidatarbete i Skogshushållning

**Kursansvarig institution:** Skogsmästarskolan

**Kurskod:** EX0938

**Program/utbildning:** Skogsmästarprogrammet

**Utgivningsort:** Skinnskatteberg

**Utgivningsår:** 2019

**Omslagsbild:** Laserdatapunkter från ytmodell som illustrerar olika höjdsikt. De röda punkterna visar den högsta och de gröna punkterna den lägsta höjden. © Edvin Lidén.

**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Serietitel:** Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

**Delnummer i serien:** 2019:28

**Nyckelord:** höjdmodell, skogsuppskattning, laserdata



Sveriges lantbruksuniversitet  
Skogsvetenskapliga fakulteten  
Skogsmästarskolan

## Förord

Detta examensarbete är en del av utbildningen vid skogsmästarskolan, SLU Skinnskatteberg. Våra tidigare erfarenheter inom skogsbruket har fått oss intresserade att titta vidare på *Skattning av trädhöjd med hjälp av en ytmmodell för laserdata*. Arbetet är en 15 poängs kurs som utförts i samarbete med T-kartor, Kristianstad.

Vi vill tacka alla personer som har varit tillgängliga och hjälpt oss under exjobbets gång, med fakta, korrekturläsning, datamaterial mm. Ingen nämnd, ingen glömd.

Skinnskatteberg, maj 2019.

*Edvin Lidén*  
*Johan Söderberg*



# Innehållsförteckning

<b><u>SAMMANFATTNING.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>SUMMARY.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>1. INTRODUKTION .....</u></b>	<b><u>5</u></b>
1.1 SKOGSUPPSKATTNING .....	5
1.2 LASERSKANNING .....	5
1.3 YTMODELL FRÅN FLYGBILDER .....	6
1.4 TIDIGARE STUDIER .....	7
1.5 T-KARTOR .....	7
1.6 SYFTE.....	7
<b><u>2. MATERIAL OCH METODER .....</u></b>	<b><u>9</u></b>
2.1 KARSHOLM GODS .....	9
2.2 FÄLTBLANKETT .....	9
2.3 FÄLTARBETE .....	9
2.4 BEARBETNING AV YTMODELLEN.....	10
2.5 BEARBETNING AV DATAINSAMLING .....	11
<b><u>3. RESULTAT.....</u></b>	<b><u>13</u></b>
3.1 SAMMANSTÄLLNING BESTÅND.....	13
3.2 HÖJD .....	13
3.3 STAMANTAL .....	15
3.4 VOLYM .....	16
3.4 GRUNDYTA .....	17
3.5 ÅLDER.....	18
3.6 HUR MAN FÅR RÄTT HÖJD MED YTMODELLEN .....	19
3.6.1 STAMANTAL .....	19
3.6.2 GRUNDYTA.....	20
<b><u>4. DISKUSSION .....</u></b>	<b><u>21</u></b>
4.1 SLUTSATS AV FÄLTARBETETS RESULTAT .....	21
4.2 JÄMFÖRT MED TIDIGARE STUDIERS RESULTAT .....	22
4.3 STUDIENS STYRKOR OCH SVAGHETER .....	22
4.4 REKOMMENDATIONER OCH SLUTSATSER.....	23
<b><u>5. REFERENSER.....</u></b>	<b><u>25</u></b>
5.1. PUBLICERAT MATERIAL .....	25
5.2. ICKE PUBLICERAT MATERIAL .....	26
<b><u>6. BILAGOR.....</u></b>	<b><u>27</u></b>
BILAGA 1. MALL FÖR INSAMLINGEN AV FÄLTDATA.....	27



## Sammanfattning

Laserskanning av skog har på senare tid blivit lite av ett revolutionerande verktyg inom skogsbruket. Det är ett smidigt och kostnadseffektivt verktyg samtidigt som det är brukbart över mycket stora arealer. Informationen man utvinner från laserskanningen ger en bra översikt av innehavet men ligger även till god grund vid beslutsfattning av framtida skogsbruksåtgärder, samt hur dessa skall utföras.

Syftet med studien var att ta reda på ytmodellens mätnoggrannhet på beståndsnivå. För att kunna använda ytmodellen som grund för beslutsfattning av skogliga åtgärder krävs att man säkerställer materialets mätnoggrannhet, gällande överskattning/underskattning på beståndsnivå.

Studien genomfördes på gallrade grandominerande bestånd i Skåne med ett åldersspann 20–80 år. Provytorna slumpades ut i bestånden vars storlek var minimum ett hektar. Inom provytorna klavades alla stammar och höjden mättes på vartannat träd inom varje två centimetersklass. Resultatet från fältstudien jämfördes sedan mot värden från ytmodellen där man kunde se att ytmodellen underskattar beståndenshöjden med en genomsnittlig höjd på 3,15 meter, (16 %). Underskattningen går att knyta an till beståndens täthet. En teori till detta resultat är att fler laserpunkter tar direkt på marken och på så sätt träffar hög underväxt, utstickande grenar mm i luckiga bestånd vilket i sin tur sänker ytmodellens medelhöjden.

Nyckelord: höjdmodell, skogsuppskattning, laserdata, flygburen laser, skogsinventering





## Summary

Laser scanning of forests has recently become a bit of a revolutionary tool in forestry. It is a smooth and cost-effective tool while it is usable over very large areas. The information extracted from the laser scanning provides a good overview of the property but is also a good basis for decision making of future forestry measures and how these are to be carried out.

The purpose of the study was to find out the surface model measurement accuracy at stock level. To be able to use surface model as a basis for decision making of forest measures, it is necessary to ensure the material's measurement accuracy, current overestimation / underestimation at the stock level.

The study was conducted on thinned spruce dominant stocks in Skåne with an age range of 20-80 years. The sample surfaces were randomized into the stocks whose size was at least two hectares. Within the test areas, all strains were clawed and the height was measured on every other tree within each two centimeter class. The results from the field study were then compared to the results of the laser scanning, where it could be seen that the laser scanning height model underestimates the height of the stock with an average height of 3,15 meters (16%). The underestimation cannot be tied to the population's number or height, however, the surface model shows a greater underestimation in the areas containing large openings. One theory to this result is that more laser points take directly on the ground and thus hit high undergrowth vegetation, protruding branches etc. in this areas whit more openings, which in turn lowers the surface models average height.

Keywords: height model, forest estimate, laser data, airborne laser, forest inventory



# 1. Introduktion

## 1.1 Skogsuppskattning

För att sköta skog på ett lönsamt och effektivt sätt så måste man ha kunskap och underlag som krävs för att kunna utföra skogliga åtgärder som röjning, gallring och slutavverkning vid rätt tidpunkt. Skogsägaren och beslutsfattaren behöver ett bra underlag i form av skogliga data. Det skogliga data som kan underlätta bedömningen kan vara till exempel höjd, diameter, grundyta och stamantal (Karlsson 1991).

Det traditionella sättet att få fram skogliga data är genom att uppskatta värdena i fält med hjälp av klave, relaskop och höjdmätare. Det är tidskrävande om värdena ska bli pålitliga med så lite fel som möjligt. I heterogena bestånd är det även svårt att bedöma och beskatta skogen på ett pålitligt sätt med enbart ett fåtal provytor. I dessa fall krävs ofta en inventering genom stort antal provytor eller en heltäckande inventering där man mäter så gott som alla träd i det aktuella beståndet, vilket medför höga kostnader (Östberg 2003).

Inom skogsbruket används grundytevägd medelhöjd, då man på ett enkelt sätt kan räkna ut beståndets volym genom att veta grundyta och höjd. När man mäter ett beståndets höjd i fält är det medelhöjd eller övrehöjd man är ute efter. Grundytevägd medelhöjd, även kallad Loreys medelhöjd används i stället för aritmetisk medelhöjd för att stora träd, träd med stor diameter och grundyta ska väga tyngre vid beräkningen (Albrektsson m.fl.).

## 1.2 Laserskanning

Laserskanning sker genom att laserstrålar skickas ut från luften mot marken med hjälp av flygplan eller dylikt, när de träffar material reflekteras dem och återgår till sändaren. Tack vare att laserstrålens hastighet är känd kan man beräkna hur lång tid det tar för laserstrålen att färdas tillbaka. På så sätt kan man beräkna hur långt bort föremålet är och skapa en datapunkt där laserstrålen reflekterades tillbaka mot sändaren. Positionen för en viss datapunkt kan bara beräknas om koordinatsystemet och lasersystemet är känt i relation till varandra, man skapar således ett 3D moln av datapunkter varvid en mängd olika produkter kan härledas av datamaterialet (Dowling m.fl. 2013).

Under de senaste 20 åren har flygburen laserskanning använts som hjälpmedel för skoglig uppskattning. Laserskanning har blivit lite av ett revolutionerade hjälpmedel för skogsbruket som underlättar översikten av stora skogsarealer (Lindgren & Holmgren 2014). När man mäter skogsområden med täta laserpunktsmoln kan man skatta variabler såsom höjd, volym och krondiameter som sedan kan summeras på beståndsnivå. När endast data av glesare laserpunktsmoln kan tillhandahållas blir enstaka träd svårare att identifiera och underlaget blir mer svår svårtolkat (Holmgren 2004).

Laserdatamaterialet kan till fördel kombineras med referensdata från fältobservationer för att få en heltäckande skogsuppskattning. Detta är ett bra hjälpmedel för skogsägaren att nyttja för att få information om sitt skogsinnehav och få en bra översikt. Det ger även ett bra underlag till beslut att utföra skogsbruksåtgärderna i rätt tid. Det hela bidrar till att man kan ta snabbare beslut och få bättre översikt på skogen, jämfört med enbart traditionell skogsuppskattning i fält med klave, relaskop och höjdmätare (Lindgren & Holmgren 2014).

Laserskanningens punkter avbildar terrängen, träd och annan vegetation. Sedan mitten av 90-talet har flertalet studier utförts i Norden för att undersöka möjligheten att skatta skog med hjälp av flygburen laserdata. Variabler såsom grönkrongräns, höjd, grundyta, diameter och volym har kunnat skattas med låg standardavvikelse och kan jämföras med objektiva inventeringar från marken (Næsset m.fl. 2004).

År 2009 började lantmäteriet med en rikstäckande laserskanning av Sverige för att ta fram en ny nationell höjdmodell (NNH) av god kvalitet. Höjdmodellen är en beskrivning av terrängen där allt annat än själva markytan har plockats bort, det vill säga det som återstår är en kal markyta utan träd, vegetation, byggnader med mera, detta underlättar avläsandet av terrängens struktur och topografi. Som biprodukt av detta arbete fick man fram betydelsefull information om mycket annat än bara höjdmodellen, till exempel vegetation och skog. Denna biprodukt visades vara betydelsefull och lantmäteriet tillhandahöll punktmolnens rådata som en separat produkt som användare kunde få tillgång till och själva sortera fram information ifrån. NNH är dock bara en xyz-mätning, rakt uppifrån.

Punktmolnet av skog ger information om det aktuella tillståndet i skogen vid tidpunkten för mätningen. Laserscanningen gjordes med början 2009 och blir med åren mer och mer inaktuell. (Larsson m.fl. 2016).

### **1.3 Ytmodell från flygbilder**

Lantmäteriet började år 2016 framställa en ytmodell från de flygbilder som tas vartannat år, i Skåne är det 25 centimeters upplösning på bilderna. Ytmodell från flygbilder är kort en beskrivning av terräng och vegetation utifrån vad man ser från flygbilder och som jämförs mot laserskanningens höjdmodell. Ytmodellens punkter består av ett lager höjdsatta punkter (2,5D modell), man kan sedan räkna ut skogstillväxt genom att uppsätta till 3D data. Ytmodellen framställs genom överlappande flygbilder som matchas mot varandra, varvid ett höjdsatt punktmoln skapas av de matchande punkterna. Ytmodellen beskriver enbart vad som syns uppifrån med flygbildskameran, det vill säga trädkronor, vegetation, byggnader och kal markyta (Lantmäteriet 2016).

## 1.4 Tidigare studier

Det finns ett flertal studier sedan innan där man har studerat lasersuppskattningens noggrannhet. En tidigare studie inom det här ämnesområdet är Björn Karlssons *Samband mellan laserdata och fältdata* (2012). Karlsson utförde sin studie i Västerbotten och hans provytor hade en genomsnittlig trädslagsblandning med cirka 70 % tall, 20 % gran och 10 % löv. Variablerna som jämfördes var höjd, biomassa, diameter, volym, stamantal och ålder. Enligt den studien var det höjd som skattades med minst fel men även biomassa, diameter och volym skattades bra men lite sämre. Stamantal och ålder var de variabler som skattades med mest fel (Karlsson 2012).

En annan studie som är gjord är Pehr Bodéns *Förtolkning inför skogsbruksplanläggning med laserdata (NNH), eller traditionell flygbildstolkning* (2014). Bodéns studie gjordes på en fastighet i Västerbotten där han gjorde en jämförelse mellan laserdata och fältdata, variablerna som jämfördes var höjd, diameter, grundyta och virkesförråd. Studien visade att höjd var den variabeln som skattades med minst fel och även diameter fick ett godkänt resultat enligt Bodén. Grundyta och virkesförråd var de variabler som skattades med mest fel (Bodén 2014).

## 1.5 T-kartor

T-kartor AB är ett privatägt företag med ambitionen att skapa kartor på ett effektivt sätt. Företaget grundades 1985 i Kristianstad och är under ständig tillväxt, i dagsläget har dem omkring 80 anställda utspridda i fem länder, Sverige, Norge, Finland, USA och Storbritannien. T-kartors tjänster har vid flertalet gånger vunnit internationella utmärkelser genom deras idoga arbete med design, grafiska kvalitet och datastyrda processer, vilket ligger under ständig utveckling (T-kartor 2019).

T-kartors intresse i att få denna studie genomförd har som grund i att få en utvärdering av hur bra höjd, höjdtillväxt och luckighet kan mätas med laser- och ytmodellsdata jämfört med traditionella skogliga mätmetoder. Detta är av intresse för att eventuellt kunna kommersialisera webbtjänster med trädhöjdsinformation främst från ytmodellen, vilket ska produceras vartannat år (Oxenstierna 2019).

## 1.6 Syfte

Syftet med studien var att ta reda på ytmodellens mätnoggrannhet på beståndsnivå. Hur tillförlitligt är höjduppskattning med hjälp av ytmodellen och hur bra stämmer det för variabeln höjd. Studien begränsas till grandominerade bestånd på god mark i Skåne.



## **2. Material och metoder**

### **2.1 Karsholm gods**

Studiens fältarbete har utförts i Karsholm gods skogar som är belägen i nordöstra Skåne intill Oppmanna- och Råbelöfssjön, norr om Kristianstad. Egendomen omfattar ca 2100 hektar mark varav 1400 hektar av denna är produktiv skogsmark.

T-kartor hade valt ut ett antal gallrade, jämna, väl slutna och ”typiskt skånska” granbestånd i åldrarna 20 – 80 år. För området där bestånden finns har en ytmodell på vegetationens höjd tagits fram hösten 2018, vilket har gett en lämplig data att jämföra fältstudien emot. Varje utvalt bestånd var minst ett hektar stort där 10 provytor slumpmässigt lades ut men med ett minsta avstånd på 15 meter till beståndskant.

### **2.2 Fältblankett**

Inför fältstudien arbetades en fältblankett fram med de olika parametrar som skulle dokumenteras i varje provyta för att underlätta arbetet med insamlingen av data i fält (se bilaga 1). För att kunna jämföra detta så var det just diameter, stamantal och höjd som skulle mätas på varje provyta.

### **2.3 Fältarbete**

I vart bestånd lades tio provytor slumpvis ut och tidsmässigt beräknades det hinnas med ett bestånd per dag. De olika bestånden delades in i tre huvudklasser vars provytor hade olika radie beroende på beståndets stamtäthet, höjd och ålder.

Under fältstudien besöktes provytorerna var för sig och dess centrum markerades med en jordsond som drevs ned i marken för att få en bra stabilitet. Övre delen av sonden hade en ögla som måttbandet kunde förankras i och på så vis försäkrade vi oss om att provytans centrum förblev densamma mätningarna igenom.

#### **De tre provyteradiernas storlekar:**

- Provyteradie 5 m. >1500 stam/ha – (Förstagallrade bestånd)
- Provyteradie 7 m. 1000–1500 stam/ha – (Andragallrade bestånd)
- Provyteradie 8 m. <1000 stam/ha – (Glesare/äldre bestånd)

Tanken med att använda sig av tre olika provytorstorlekar var för att få ungefär 10–20 träd i varje provyta. Detta för att underlätta mätningen både tidsmässigt och minska uppkomsten av eventuella fel under mätningarna, då en stor provyta med hög stamtäthet ökar risken att samma träd mäts fler gånger och/eller inte mäts alls.

I tabell 2.1. visas beståndsdata från skogsbruksplanen för Karlsholms gods som är upprättad av Skogssällskapet. Beståndsdata var känd innan fältarbetet och med hjälp av dem uppgifterna bestämdes storleken på provytorna.

Tabell 2.1. En sammanställning av övergripande beståndsdata som är hämtat från skogsbruksplan samt val av storleken på provytorna. Ålder är uppdaterad och avser 2018/2019 då fältarbetet gjordes

Bestånd, nr	Area, ha	Radie provyta, m	Ålder	Ståndorts index
67	7,54	8	67	G32
69	3,49	7	67	G32
73	1,24	5	27	G34
75	2,91	5	27	G34
176	11,93	8	52	G32
194	3,22	8	57	G30
258	3,03	8	57	G32
262	2,4	7	42	G30
272	2,53	7	37	G32
292	4,85	7	32	G30

Provytorna slumpades ut i de olika bestånden av T-kartor med en inlagd negativ buffert på 15 meter, vilket gjorde att provytorna inte hamnade närmre beståndsgräns än 15 meter som närmast. Detta för att förhindra att någon av provytorna skulle kunna hamna så nära beståndsgräns att någon del av en provyta riskerade att delvis hamna utanför beståndet, på så sätt skulle inte hela denna provyta kunna representera beståndet fullt ut.

Provytornas punkter lades sedan in i kartprogrammet Avenza Maps innehållande flygfoto med beståndsgränser som bakgrundskarta. Detta bidrog till att man kunde orientera sig på ett smidigt sätt i terrängen och lokalisera varje provyta med hjälp av GPS tekniken i en vanlig smartphone.

Trädens diamantar delades in i diameterklasser om två centimeters vidd (7-, 9-, 11-, 13-, osv.) varvid alla träd med minst sju centimeter i diameter och befann sig inom provytan klavades, döda träd mättes också men markerades som döda. Höjden mättes med en Vertex IV (Haglöf, höjdmätare med ultraljud till avståndsmätning) på vartannat träd i varje två centimeters diameterklass. Alla höjdräd korsklavades för att få ut ett så korrekt underlag som möjligt inför volymsberäkningen.

## 2.4 Bearbetning av ytmodellen

Använd ytmodell över projektområdet är framtagen av Lantmäteriet från flygbilder hösten 2018, laserscanningen är från 2011.

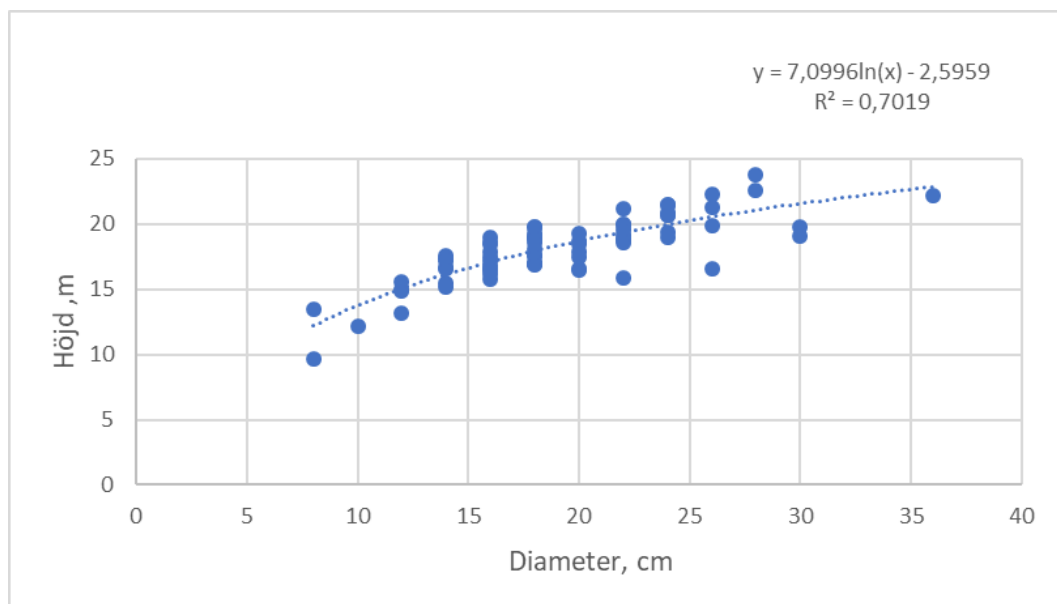


T-Kartor gjorde följande processteg, med programvarorna PDAL, GDAL och QGIS:

- 1 Laserscanningens markmodell rasterades till en meters upplösning, med höjdvärdet som pixelvärde
- 2 Ytmodellen rasterades till en meters upplösning, med höjdvärdet som pixelvärde
- 3 Trädhöjdsraster skapades genom att subtrahera resultatet av steg 2 från resultatet av steg 1
- 4 Trädhöjdsrastervärden lägre än 7 meter och högre än 40 meter ignorerades (sattes till NULL) för att undvika värden från luckor, vegetation, buskar och eventuella småträd
- 5 Trädhöjdsrastret klipptes mot bestånds- och provvytor. För varje analysyta räknades medianvärdet fram av alla pixlar som låg helt innanför respektive yta. Detta medianvärde blev alltså varje bestånds- och provvytas ytmodellhöjd.

## 2.5 Bearbetning av datainsamling

Datat från fältstudien överfördes från fältblanketterna till en PC som sedan sammanställdes i Excel. I Excel beräknades grundtyevägd medelhöjd (HGV). En höjdkurva togs fram för varje bestånd genom att göra en utjämning med en logaritmisk funktion. Olika alternativ testades men logaritmisk funktion valdes då den väl beskrev höjden för alla bestånd. När trendlinjen räknas ut får man en funktion där  $y$  = höjd i meter och  $x$  = diameter i centimeter, se figur 3.1 nedan.



Figur 2.1. Höjdkurva med logaritmiskfunktion för ett enskilt bestånd.

För att få fram övrehöjd för bestånden och varje enskild provyta togs genomsnittet på de två grövsta träden på provvytorna, till detta användes höjdkurvan.

Volymen beräknades med hjälp av Göran Brandels funktion för enskilda träd, söder om 60e breddgraden, (Brandel, 1990). Höjd och brösthöjdsdiameter används för att få fram det enskilda trädets volym i skogskubikmeter ( $m^3_{sk}$ ), vilket i denna studie gjordes för varje diameterklass. I figur 3.2 nedan visas den

funktion vi använde för gran. De enskilda trädens volym summerades för att få volym för varje provyta och bestånd

$$V = 10^{-1,02039} \times D^{2,00128} \times (D+20,0)^{-0,47473} \times H^{2,87138} \times (H-1,3)^{-1,61803}$$

Figur 3.2. Brandels volymfunktion för granar, söder om den 60e breddgraden. V=volym (m<sup>3</sup>sk), D=diameter (cm), H=höjd (m). (Brandel 1990).

För att få fram grundytan per hektar räknades arean i brösthöjd för varje enskilt träd och sedan beräkna om det per hektar. Stammantalet beräknades fram genom att räkna upp stammarna från provytan till hektar.

För att få en bra beskrivning av bestånden beräknades standardavvikelse och medelavvikelse för provytorna. Beräkningarna gjordes för höjd, stammanatal, volym och grundyta.

I kapitlet resultat har en sammanställning av data från fältstudien och ytmodellen redovisats i tabeller och diagram. Resultatet i form av medelhöjder från fältstudien har jämförts med ytmodellens medelhöjder och därifrån har skillnaden mellan höjderna jämförts med beståndsdata, så som stamantal, volym, grundyta och ålder.

## 3. Resultat

### 3.1 Sammanställning bestånd

Alla mätta bestånd dominerades av gran. De var alla gallrade, en del nyligen gallrade en första gång, en del gallrade flera gånger. Höjden varierade mellan ca 15 meter och ca 25 meter. Bestånden som mättes var olika stora och den areella skillnaden var från 1,24 hektar till 11.93 hektar. Stammantal, grundyta volym och ålder visas i en sammanställning över bestånden i tabell 3.1. Bestånden var jämna med relativ liten variation. För att få en bra beskrivning av hur jämna bestånden är har standardavvikelse räknats ut för de olika parametrarna.

Grundytevägd medeldiameter som visas under ”DGV” i tabell 3.1 har en genomsnittlig standardavvikelse på 11%, det bestånd som har mest avvikande standardavvikelse är bestånd nummer 67 som har 23% standardavvikelse. Bestånd 67 är det bestånd som har störst diameterspridning.

Tabell 3.1. En sammanställning av beståndsdata från de uppmätta bestånden.

Bestånd, nr	Ålder	DGV, cm	Volym, m <sup>3</sup> sk/ha	Stammar/ ha	Grundyta, m <sup>2</sup> /ha	HGV, m	Övrehöjd, m
67	67	35,53	508	517	41,53	26,82	28,48
75	27	15,74	177	1604	25,82	13,48	14,60
176	52	29,07	322	527	31,38	22,06	23,19
69	67	29,75	503	760	44,84	23,97	25,36
194	57	29,78	433	622	38,24	24,14	25,79
262	42	22,72	278	851	29,34	19,47	20,63
258	57	30,34	329	438	29,18	24,22	24,98
272	37	22,73	293	903	31,60	19,12	20,16
292	32	21,55	268	955	28,74	18,98	20,02
73	27	19,91	195	942	25,69	15,54	16,61

### 3.2 Höjd

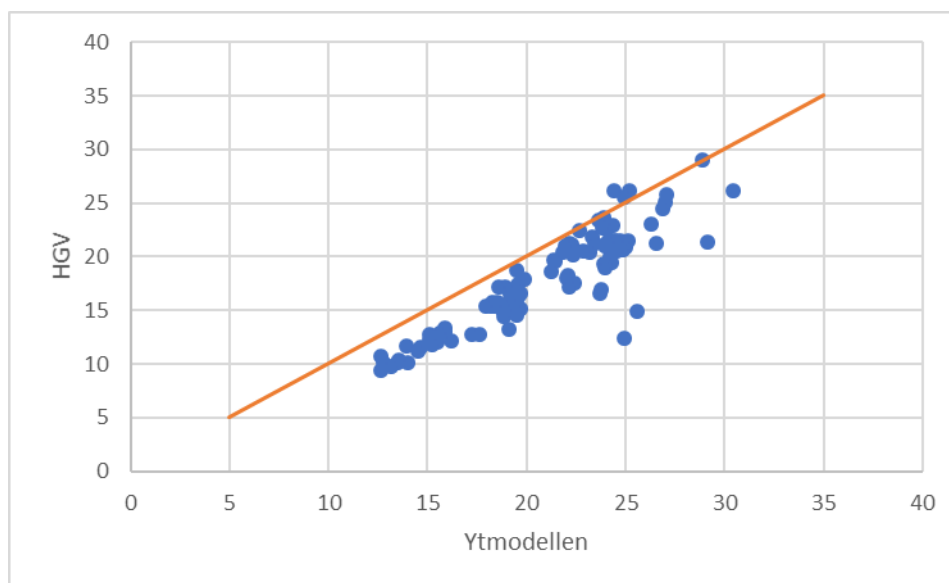
I tabell 3.2 visas att ytmodellens medelhöjd ligger under höjderna från fältmätningen som är grundytevägd medelhöjd (HGV) och övrehöjd. I genomsnitt ligger ytmodellens medelhöjd under grundytevägd medelhöjd med 16% och övrehöjd med 20%. En hypotesprövning är gjord för att testa om det finns någon signifikant skillnad mellan ytmodellens höjd och grundytevägd höjd på beståndsnivå. Med ett t-värde på 15,1794 och 9 frihetsgrader, kan slutsatsen dras att med 99,9% säkerhet så underskattar ytmodellens höjd den grundytevägda höjden.

Tabell 3.2. Sammanställning av höjder från de olika bestånden med differens (Diff) mellan de fältmätta höjderna och ytmodellens medelhöjd, framtaget genom att subtrahera höjd ytmodellen med de fältmätta höjderna.

Bestånd, nr	Höjd yt- modellen	HGV, m	Diff, m	Övrehöjd, m	Diff, m
67	23,97	26,82	-2,85	28,48	-4,51
75	10,48	13,48	-3,00	14,60	-4,12
176	19,21	22,06	-2,85	23,19	-3,98
69	21,95	23,97	-2,02	25,36	-3,41
194	20,96	24,14	-3,18	25,79	-4,83
262	15,85	19,47	-3,62	20,63	-4,78
258	19,88	24,22	-4,34	24,98	-5,10
272	16,27	19,12	-2,85	20,16	-3,89
292	15,16	18,98	-3,82	20,02	-4,86
73	12,78	15,54	-2,76	16,61	-3,83

I Figur 3.1. nedan visas att medelhöjden från ytmodellen ligger i merparten under den grundtytvägd medelhöjden från fältstudien. Om ytmodellen och fältmätningarnas höjder hade stämt överens så hade punkterna legat på den heldragna linjen.

Ytmodellens medelhöjd låg som mest 12,28 meter under grundtytvägd medelhöjd och som mest över 2,09 meter för enskild provyta. I snitt låg ytmodellen 3,15 meter under grundtytvägd medelhöjd.



Figur 3.1. Höjd enligt ytmodellen jämfört med fältmätt grundtytvägd höjd på 100 provytor.

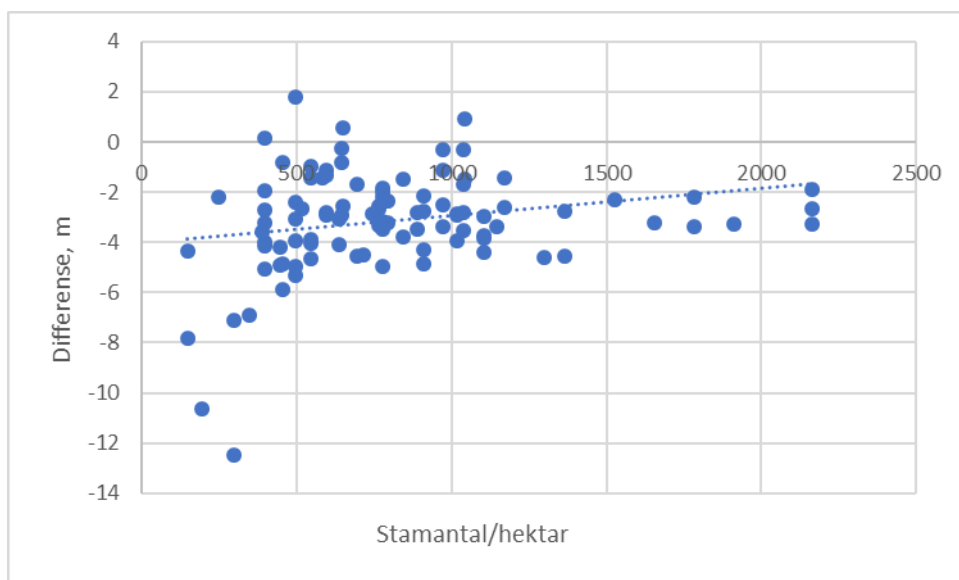
### 3.3 Stamantal

Stamantalet per hektar skiljer stort mellan bestånden, i tabell 3.3 visas att det bestånd med lägst antal stammar per hektar har 438 stam och det bestånd med mest antal stammar har 1604 stammar per hektar.

Tabell 3.3. Sammanställning över stammar per hektar över de olika bestånden med standardavvikelse och medelavvikelse som beskriver spridningen.

Bestånd, nr	Stammar/ ha	Standar- avv. Stammar	Medel- avv. Stammar
67	517	312	227
75	1604	586	479
176	527	122	84
69	760	321	270
194	622	158	119
262	851	269	203
258	438	93	78
272	903	124	99
292	955	315	270
73	942	256	188

I Figur 3.2 visas spridningen av differensen mellan den fältmätta grundtyevägd medelhöjden. Den linjära trendlinjen visar att differensen minskar med högre stamantal men dock är  $R^2$ -värdet för trendlinjen 0,0537.



Figur 3.2. Differensen mellan grundtyevägd medelhöjd från fältstudien och ytmodellens medelhöjd ritat över stamantal från 100 provtytor som var utlagda i de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.

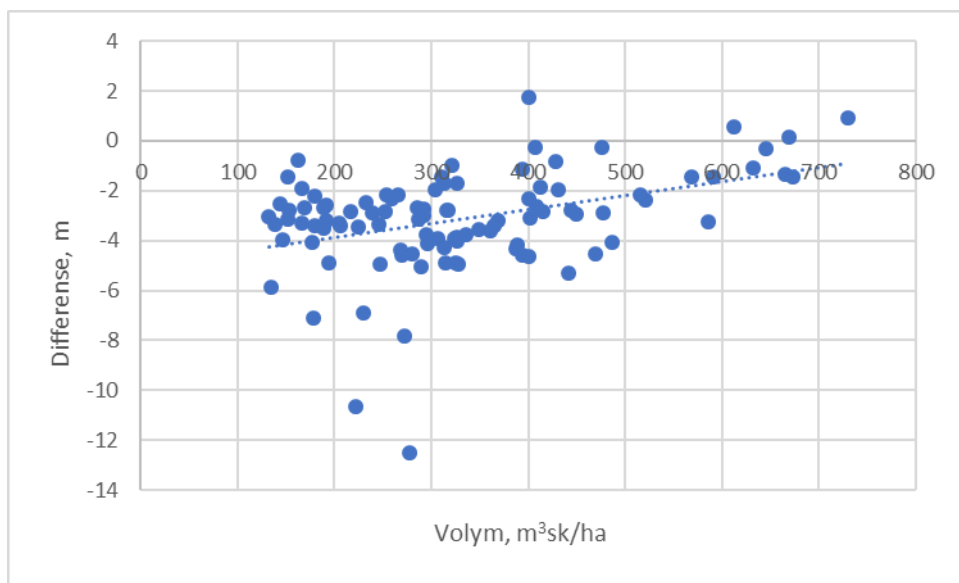
### 3.4 Volym

Volym per hektar skiljer stort mellan bestånden, i tabell 3.4 visas att det bestånd med lägst volym per hektar har 177 m<sup>3</sup>sk och det bestånd med högst har 508 m<sup>3</sup>sk per hektar.

Tabell 3.4. Sammanställning över skogskubikmeter per hektar över de olika bestånden med standardavvikelse och medelavvikelse som beskriver spridningen.

Bestånd, nr	Volym m <sup>3</sup> sk/ha	Standar- avv. Volym	Medel- avv. Volym
67	508	151,6	127,5
75	177	36,0	26,9
176	322	64,4	37,3
69	503	154,2	125,8
194	433	78,9	54,4
262	278	71,1	50,3
258	329	90,8	72,7
272	293	47,0	38,1
292	268	99,4	78,2
73	195	35,6	28,1

I Figur 3.3 visas spridningen av differensen mellan den fältmätta grundtyevägd medelhöjden. Den linjära trendlinjen visar att differensen minskar med högre volym men dock är R<sup>2</sup>-värdet för trendlinjen 0,1527.



Figur 3.3. Differensen mellan grundtyevägd medelhöjd från fältstudiens och ytmodellens medelhöjd ritat över volym, skogskubikmeter per hektar från 100 provytor som var utlagda i de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.

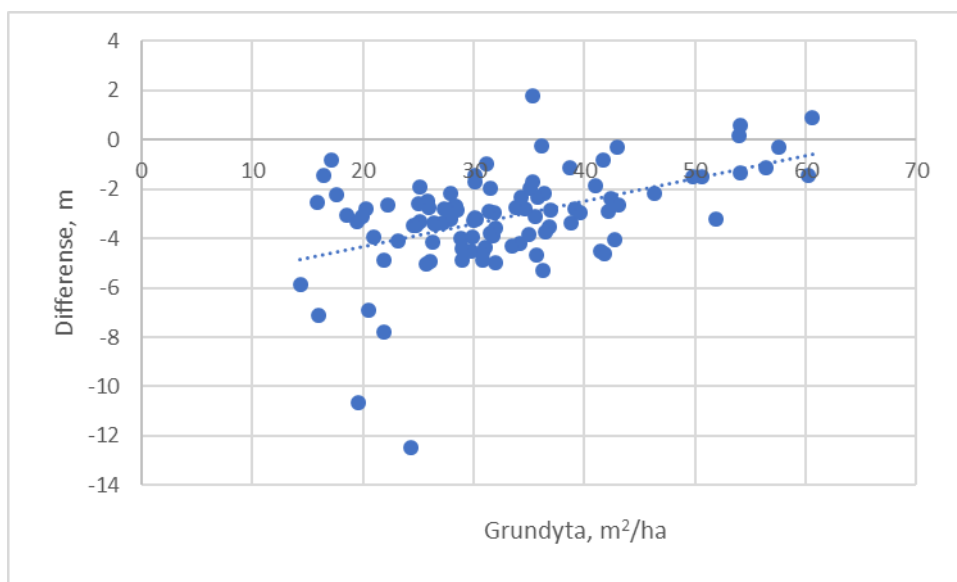
### 3.4 Grundyta

Grundyta per hektar skiljer stort mellan bestånden, i tabell 3.5 visas att det bestånd med lägst grundyta per hektar har 26 m<sup>2</sup> och det bestånd med högst har 45 m<sup>2</sup> per hektar.

Tabell 3.5. Sammanställning över grundyta i kvadratmeter per hektar över de olika bestånden med standardavvikelse och medelavvikelse som beskriver spridningen.

Bestånd, nr	Grundyta m <sup>2</sup> /ha	Standar- avv. Grundyta	Medel- avv. Grundyta
67	42	12,63	10,63
75	26	5,35	3,98
176	31	6,29	3,72
69	45	13,80	11,20
194	38	7,00	4,75
262	29	6,88	5,08
258	29	7,94	6,38
272	32	4,87	4,00
292	29	10,44	8,21
73	26	4,71	3,75

I Figur 3.4 visas spridningen av differensen mellan den fältmätta grundytavägda medelhöjden. Den linjära trendlinjen visar att differensen minskar med högre grundyta men dock är R<sup>2</sup>-värdet för trendlinjen 0,2234.



Figur 3.4. Differensen mellan grundytavägd medelhöjd från fältstudiens och ytmmodellens medelhöjd ritat över grundyta, kvadratmeter per hektar från 100 provytor som var utlagda i de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.

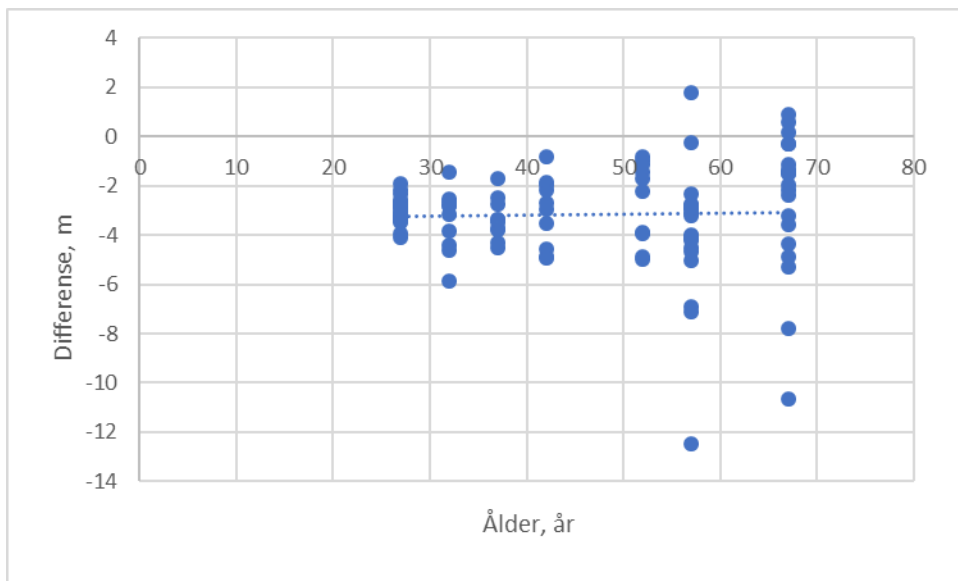
### 3.5 Ålder

Bestånds åldrarna är hämtad från Skogssällskapets skogsbruksplan för fastigheten. Ålder för bestånden skiljer stort, i tabell 3.4 visas att det bestånden som är yngst är 27 år gamla och det äldsta beståndet är 67 år gammalt. I tabell 3.6 nedan visas beståndens ålder som är av Skogssällskapet indelat i 5års-intervaller.

Tabell 3.6. Sammanställning över beståndens åldrar.

Bestånd, nr	Ålder
67	67
75	27
176	52
69	67
194	57
262	42
258	57
272	37
292	32
73	27

I Figur 3.5 visas spridningen av differensen mellan den fältmätta grundtyevägd medelhöjden. Den linjära trendlinjen visar att differensen har en liten tendens till att minskas med högre ålder men dock är  $R^2$ -värdet för trendlinjen 0,001.



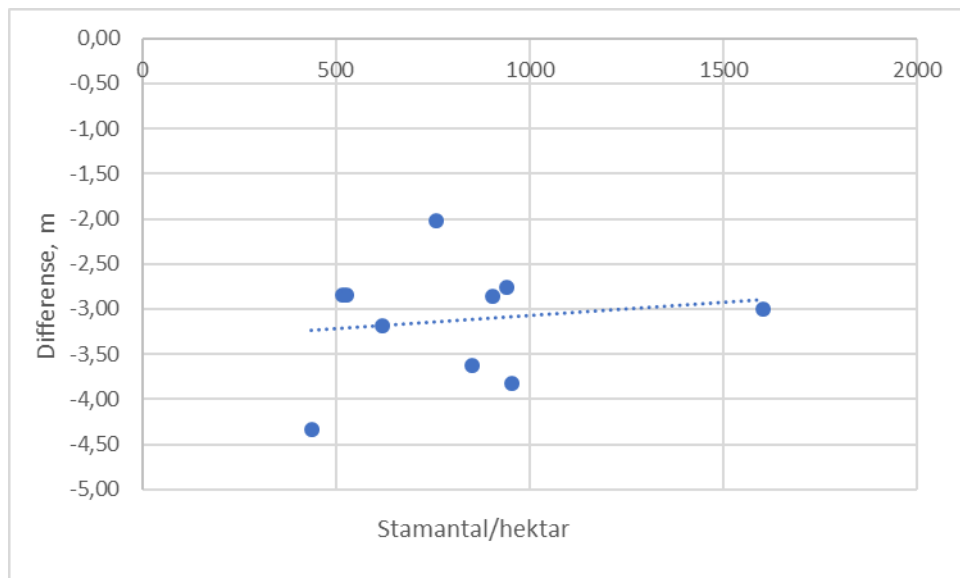
Figur 3.5. Differensen mellan grundtyevägd medelhöjd från fältstudiens och ytmoddellens medelhöjd ritat över ålder, år från 100 provytor som var utlagda i de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.



## 3.6 Hur man får rätt höjd med ytmodellen

### 3.6.1 Stamantal

I genomsnitt underskattar ytmodellens medelhöjd den grundtevägda medelhöjden med 3,15 meter, proportionellt mot höjden blir det 16%. När de provytorna som har under 1000 stammar per hektar filtreras bort underskattar ytmodellen den grundtevägda höjden i genomsnitt med 2,79 meter och i proportion mot medelhöjden blir det 17%. När de provytorna som har högre än 1000 stammar per hektar filtreras bort blir ytmodellens underskattning mot grundtevägd höjden i genomsnitt med 3,28 meter och i proportion mot medelhöjden blir det 15%. Stamantalet har påverkan på differensen mellan ytmodellens höjd och grundtevägd höjd då differensen är mindre i tätare provytorna och högre i glesare provytorna, men dock är proportionerna förhållande till medelhöjden mindre i de provytorna med glesare skog.



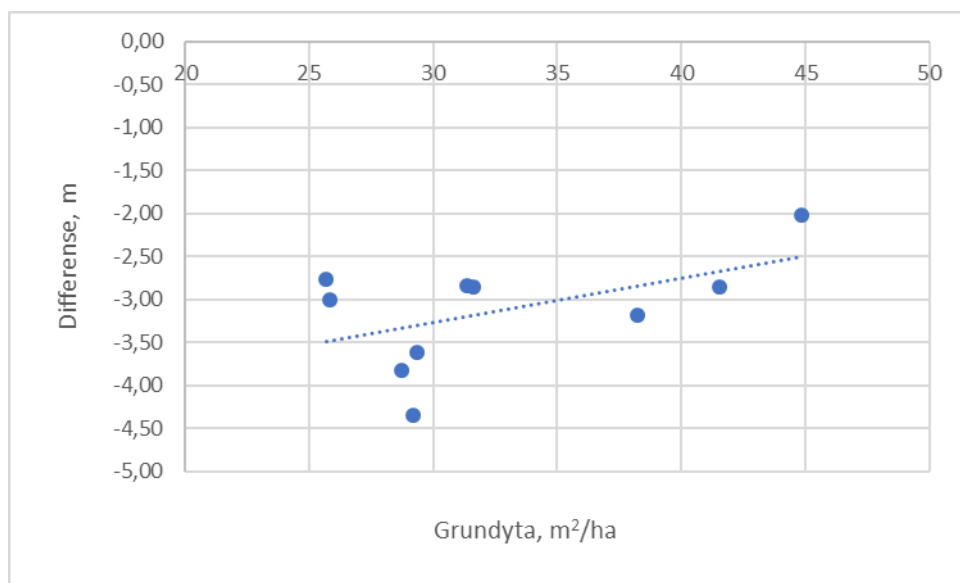
Figur 3.6. Differensen mellan grundtevägd medelhöjd från fältstudiens och ytmodellens medelhöjd ritat över stamantal per hektar från de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.

I Figur 3.6 visas differensen mellan den grundtevägda medelhöjden och den med ytmodellen beräknade medelhöjden. Differensen minskar med högre stamantal i de bestånden. Alltså desto högre stamantal per hektar desto närmare är ytmodellens höjd den grundtevägda höjden.

Funktionen för avvikelse, som kan användas för att korrigera ytmodellens höjd är  $\text{korrektion} = 3,3685 - 0,0003 \cdot \text{stamantal per hektar}$ . Korrektionen är i meter och adderas till ytmodellens höjd för att få fram grundtevägd medelhöjd.  $R^2$ -värdet för funktionen är 0,0234.

### 3.6.2 Grundyta

På provytorna med grundyta mindre än 30 kvadratmeter per hektar, underskattar ytmodellens höjd den grundytevägda höjden i genomsnitt 4,01 meter i proportion mot grundytevägda medelhöjden blir det 21%. På provytorna med grundyta mer än 30 kvadratmeter per hektar underskattar ytmodellens höjd den grundytevägda höjden i genomsnitt med 2,53 meter och i proportion mot den grundytevägda medelhöjden blir det -12%. Ett mått på beståndens täthet i form av grundyta per hektar har en betydelse för ytmodellens höjd gentemot den grundytevägda höjden.



Figur 3.7. Differensen mellan grundytevägd medelhöjd från fältstudiens och ytmodellens medelhöjd ritat över grundyta, kvadratmeter per hektar från de tio bestånden. Prickarna är differensen mätt i meter.

I Figur 3.7 visas differensen mellan den grundytevägda medelhöjden och den med ytmodellen beräknade medelhöjden. Differensen minskar med högre grundyta i de bestånden. Alltså desto högre grundyta per hektar desto närmare är ytmodellens höjd den grundytevägda höjden.

Funktionen för avvikelse, som kan användas för att korrigera ytmodellens höjd är  $\text{korrektion} = 4,7937 - 0,051 \cdot \text{grundyta per hektar}$ . Korrektionen är i meter och adderas till ytmodellens höjd för att få fram grundytevägd medelhöjd.  $R^2$ -värdet för funktionen är 0,2701.

## 4. Diskussion

### 4.1 Slutsats av fältarbetets resultat

Syftet med studien var att utvärdera ytmodellens mätnoggrannhet på beståndsnivå. Hur väl kan man skatta skog med hjälp av ytmodellen gentemot traditionell skogsuppskattning i fält och på sådant sätt ta reda på tillförlitligheten i ytmodellens mätresultat, gällande underskattning/överskattningar. Dock gäller resultatet från denna studien bara granskog som är väl sluten, på marker med god bonitet och gallrad minst en gång.

Resultatet i figur 3.1. ovan påvisar tydligt att ytmodellen framtagen av laserdata underskattar höjden i de olika bestånden jämfört med fältmätt höjd. I genomsnitt underskattas höjden av ytmodellen med 3,15 meter, vilket ger en total underskattning på 16 % fördelat på bestånden. I figurerna 3.2, 3.3 och 3.4 kan man se att det verkar som tätheten på provytorna har en betydelse för hur ytmodellens höjd förhåller sig till den grundtyvägda höjden.

Med hjälp av funktioner som bygger på beståndens täthet i form av grundyta och stamantal per hektar kan man få fram korrektionstal som man kan addera till ytmodellens höjd för att få fram grundtyvägd medelhöjd. Vi rekommenderar att använda sig av funktionen som bygger på grundyta då den linjära trendlinjen för grundyta har ett högre  $R^2$ -värde än den som är för stamantal.

Ytmodellens höjdunderskattning med 16% kan bero på flera faktorer. Ytmodellens punkter kan träffa objekt såsom hög underväxt, utstickande grövre grenar mm. Detta kanske antas som ett ”höjdräd” av laserpunkterna, vilket således inte medräknades vid fältstudien då bara faktiska träd över 7 cm i diameter räknades och mättes. På sådant sätt kan ytmodellen ge ”extra” låg höjd till beräkningarna av höjden som i sin tur sänker medelhöjden i genomsnitt.

Att det användes värden mellan 7–40 meter från ytmodellens punktmoln kan ha en betydelse för resultatet, att just de siffrorna blev var en avvägning för att få med alla träd i alla bestånd som var över 7 centimeter men inte buskar och dylikt. Hade man beståndsanpassat minimum gränsen för värdena man tog ut från ytmodellen med genom att till exempel höja gränsen till 20 meter i de äldre bestånden hade man kanske ytmodellens höjd legat närmre den fältmätta höjden.

En annan teori kan vara att bestånden har hunnit växa och blivit högre sedan laserskanningen utfördes. Men det är knappast troligt i detta fall då det inte infallit någon växtsäsong emellan de olika mättillfällena. Laserskanningen av aktuella bestånd utfördes hösten 2018 och fältstudien våren 2019. Detta är ännu mer otroligt då det gäller en genomsnittlig underskattning av en höjd på 3,15 m, (16%).

## 4.2 Jämfört med tidigare studiers resultat

Jämför man denna studie med tidigare studiers resultat så ser det inte helt annorlunda ut gällande höjduppskattningen av laserdata. Dock har andra studier haft en större helhetsinblick och mätt fler variabler än vid denna studie.

Björn Karlssons *Samband mellan laserdata och fältdata (2012)* utfördes i Västerbotten och där mättes variabler som höjd, biomassa, diameter, volym, stamantal och ålder. I Karlssons resultat var det grundtyevägd höjd (HGV) som skattades bäst av alla variabler vilket mättes med en mätnoggrannhet på cirka 89 %. Det vill säga ett mätfel av höjden på cirka 11 % (Karlsson 2012). Jämfört med vårt resultat på 16 % mätfel av höjd så är resultaten liknande gällande mätfel av beståndens höjd. Dock kunde Karlsson inte se någon underskattning.

Pehr Bodéns *Förtolkning inför skogsbruksplanläggning med laserdata (NNH), eller traditionell flygbildstolkning (2014)* utfördes i Västerbotten, variablerna som jämfördes var höjd, diameter, grundyta och virkesförråd. I resultatet av Bodéns studie var det höjd som var den variabeln som skattades med minst fel, där medelfelet hamnade på 6,5 % (Bodén 2014). Detta resultat visade nära hälften så mycket medelfel som Karlssons och denna studies resultat. Slutsatsen man kan dra av detta är att resultaten ändå är hyfsat nära varandra, och påvisar att höjden är den variabel som mäts med minst medelfel av alla variabler gällande skogsuppskattning med hjälp av laserdata.

## 4.3 Studiens styrkor och svagheter

Studiens provytecentrum bestämdes objektivt genom att slumpas ut över bestånden med ett minimum av 15 meter från beståndskant. Genom att objektivt bestämma provytornas centrum minimerades risken för att man subjektivt påverkar studiens resultat att medvetet/omedvetet dra resultatet åt fel håll. Tillexempel om man lägger ut provytorna subjektivt genom att omedvetet välja att ta provytorna där terrängen är mer lättillgänglig och på så sätt få fel spridning över bestånden vilket skulle dra slutresultatet åt fel håll.

För att kunna uppnå ett resultat som är säkrare och mer trovärdigt än vad denna studie kunnat påvisa skulle man bland annat kunna vara ännu mer noggrann med provytornas punkter. Provytornas centrum slumpades ut på ett kartmaterial som sedan lades in i en smartphone som använde kortprogrammet Avenza Maps. Med hjälp av denna GPS teknik söktes provytepakterna upp så noggrant det gick. Detta visade sig dock vara problematiskt och tidsödande att hitta den exakta punkten för provytan då Avenza Maps ibland hängde sig och positionspunkten för GPS-en tog lång tid att centrera sig. Att hitta centumpunkten för provytorna var av stor vikt då även laserdatans mätresultat är uträknade från dessa.

#### 4.4 Rekommendationer och slutsatser

Studien genomfördes i Skåne på Karsholm gods mark där fältstudien inriktade sig till gallrad granskog på god mark med ett åldersspann på 20 – 80 år. Skulle denna studie upprepas skulle det därför vara mycket intressant om man likt de andra studierna (Bodén 2014 & Karlsson 2012) tittade lite bredare och tog med fler mätbara variabler som t.ex. diameter, stammantal, volym och ålder från laserdata och jämförde dem med fältdata. Detta skulle bidra till att man senare skulle kunna jämföra studierna sinsemellan på ett bättre sätt, vilket skulle göra det lättare att se olika samband och lättare att dra slutsatser.

Studiens tre huvudsakliga slutsatser:

- Ytmodellen underskattar grundytevägd medelhöjd med i snitt 3,15 m (16 %) i aktuella bestånd.
- Beståndens täthet påverkar medelfelet vid höjduppskattning med hjälp av ytmodellen.
- Att man av funktioner som bygger på beståndens täthet kan få fram korrektionstal för att rätta ytmodellens höjd till grundytevägd höjd.



## 5. Referenser

### 5.1. Publicerat material

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L., Valinger, E (2012) *Skogsskötselserien 1, Skogsskötselns grunder och samband*. 2., omarb. uppl. Skogsstyrelsen.

Bodén, P (2014). Förtolkning inför skogsbruksplanläggning med laserdata (NNH), eller traditionell flygbildstolkning? Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarprogrammet (Examensarbete 2014:06)

Brandel, G. (1990). Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk. SLU, Inst f skogsproduktion, Rapport 26, 72 s., Garpenberg.

Dowling, T, P.F., Alexanderson, H., & Möller, P (2013) *The New High-Resolution LiDAR Digital Height Model ('Ny Nationell Höjdmodell') and Its Application to Swedish Quaternary Geomorphology*. GFF 135.2: 145–151. Web.

Holmgren, J (2004) *Prediction of Tree Height, Basal Area and Stem Volume in Forest Stands Using Airborne Laser Scanning*. Scandinavian Journal of Forest Research 19.6: 543–553.

Karlsson, B (2012). Samband mellan laserdata och fältdata. Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet (Kandidatarbete i skogsvetenskap 2012:21)

Karlsson, C (1991). Skogsuppskattning, skogsinventering. Solleteå: KW

Lantmäteriet (2016) Ytmodell från flygbilder och Ytmodell från flygbilder IRF – [Produktbeskrivning] Dokumentversion 1.0 (2016-10-25)

Larsson, S., Nilsson, L., Persson, A., André, P., Eriksson, J., Kristiansson, K., Lysell, G, Lantmäteriet., Nilsson, M, SLU., Jonzén, J, SLU., Olsson, H, SLU., (2016) *Skogliga skattningar från laserdata*. Skogsstyrelsen, meddelande 4, 2016. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/laserskannade-skogsdata/> (2019-05-01)

Lindberg, E & Holmgren, J (2014) *Flygburen laserskanning för skogliga skattningar*. Fakta skog. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.

Næsset, E (2004) Accuracy of Forest Inventory Using Airborne Laser Scanning: Evaluating the First Nordic Full-Scale Operational Project. Scandinavian Journal of Forest Research. 19.6. s. 554–557.

T-kartor (2019) About us. Tillgänglig: <http://www.t-kartor.com/about/> (2019-05-01)

Östberg, P-A (2003). *Försök med subjektiva metoder för datainsamling och analys av hur fel i data påverkar åtgärdsförslagen*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogligresurshushållning och geomatik, Arbetsrapport: 109

## **5.2. Icke publicerat material**

Oxenstierna, A. T-kartor, Kristianstad. (2019-05-02)



## 6. Bilagor

### Bilaga 1. Mall för insamlingen av fältdata.

Bestånd: _____		Provytans radie: _____		Ålder: _____						
Diameter	1	Höjd	2	Höjd	3	Höjd	4	Höjd	5	Höjd
9-										
11-										
13-										
15-										
17-										
19-										
21-										
23-										
25-										
27-										
29-										
31-										
33-										
35-										
37-										
39-										
41-										
43-										
45-										
47-										
49-										
51-										
53-										
55-										